

## **Kontinuierliche Deformationsmessung im Eiprofil - Praxiseinsatz in Bruchsal**

**Die IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG hat in die Dreh- und Schwenkkopfkamera ORPHEUS 2 ein System zur kontinuierlichen, lasergestützten Deformationsmessung von Kanälen integriert. Diese kam zum Einsatz, um in Bruchsal in einem Arbeitsgang mit der optischen Inspektion von 20 Haltungen im Eiprofil das reale Profilmaß zu bestimmen. Die Messergebnisse dienten dem Ingenieurbüro VOGEL Ingenieure als Grundlage für die Auswahl und Konfektionierung der Schlauchliner.**

### **1. Aufgabenstellung**

Die Stadt Bruchsal, etwa 20 Kilometer nördlich von Karlsruhe in Baden-Württemberg, betreibt als öffentliche Einrichtung eine Kläranlage mit einer Auslegung von 80.000 Einwohnerwerten, 19 Hebewerke und Regenüberlaufbecken sowie ein Kanalnetz von 265 km. Der Abwasserbetrieb Bruchsal beauftragte die VOGEL Ingenieure mit der Planung zur Renovierung von Mischwasserkanälen mit dem Ziel, eine Erneuerung möglichst lange zu vermeiden. Die Maßnahme umfasste unter anderem 20 nicht begehbare Haltungen im Eiprofil aus Beton in den Rohrnennweiten von EI 250/375 bis 500/750 mit einer Gesamtlänge von etwa 985 Metern. Mit Blick auf die zuletzt gemachten Erfahrungen bei Einsatz des Schlauchlining-Verfahrens empfahlen die VOGEL Ingenieure eine Bestimmung der realen Profilmaße im Zuge der ohnehin erforderlichen optischen Inspektion.

### **2. Planung und Vorbereitung**

Die betroffenen abwassertechnischen Anlagen befinden sich innerhalb öffentlicher Verkehrsflächen im stark frequentierten Bereich der Innenstadt, sodass verkehrsrechtliche Genehmigungen und in Abstimmungen mit der Straßenbehörde Maßnahmen zur Verkehrssicherung erforderlich waren. Um eine ausreichend gute Aussagequalität zu erhalten, wurden die zu untersuchenden Haltungen außer Betrieb genommen und die Abflüsse übergeleitet. Die Haltungen wurden im Vorfeld mittels Hochdruck-Spülung gereinigt. Als Ausgangsdaten lagen die Ergebnisse der TV-Inspektion aus dem Jahr 2007, digitale Lagepläne und die Daten der Schachtvermessungen vor.

### **3. Grenzen bisheriger Verfahrensweisen**

Üblicherweise werden in nicht-begehbaren Eiprofilen die in den Bestandsdaten des Netzbetreibers dokumentierten Nominalangaben für die Konfektionierung von Linern herangezogen. Diese Daten haben ihren Ursprung meist durch die Übernahme der Informationen aus den Bauplänen, im vorliegenden Fall aus einer vollständigen Vermessung einschließlich der angeschlossenen Kanäle. „Bestandsdaten enthalten überwiegend keine nicht gerundeten Maßangaben. Wird beispielsweise vor Ort ein Maß von 395 mm oder 412 mm ermittelt, wird dieses als Nominalmaß mit DN 400 in der Datenbank dokumentiert“, so Dipl.-Ing. (FH) Markus Vogel, Inhaber des auf die Kanalinstandhaltung spezialisierten Ingenieurbüros VOGEL Ingenieure aus Kappelrodeck und Bad Krozingen. Ergänzend zu den Bestandsdaten hat sich das örtliche Messen an Schächten als Standard etabliert. Mit der punktuellen Messung an den Rohrenden werden jedoch variierende Innenmaße über den Haltungsverlauf nicht erfasst und damit im weiteren Vorgehen nicht berücksichtigt. Bestenfalls fließen sprunghafte Veränderungen der Nennweite im Haltungsverlauf in die Linerkonfektionierung ein. Diese Dimensionswechsel sind meist während der optischen Inspektion feststellbar. Dimensionswechsel können aber auch fließend sein, sodass sie nicht mit bloßem Auge erkennbar sind. Eine möglichst genaue Kenntnis des Ist-Profiles ist aber relevant für die Konfektionierung der Liner unter der Maßgabe, eine technische Nutzungsdauer von mindestens 50 Jahren erreichen zu wollen.

#### 4. Kontinuierliche Profilmessbestimmung

In Bruchsal vor Ort waren 2 Mitarbeiter mit einem Reinigungsfahrzeug und 2 Mitarbeiter mit einem Inspektionsfahrzeug, das mit fortschrittlichen Technologien der IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG ausgestattet war. Die optische Inspektion erfolgte mit der ORPHEUS 2, die durch die am voll rotationsfähigen Kamerakopf integrierten Laser eine Deformationsmessung über die gesamte Haltungslänge - mit der neuesten Softwareversion auch im Eiprofil - ermöglicht. Der Laserscan wurde unmittelbar im Anschluss an die optische Inspektion auf dem Rückweg der Kamera vom Zielschacht zum Startschacht durchgeführt. Das Kamerasystem fuhr mit gleichmäßiger Geschwindigkeit von etwa 5 bis 7 cm/sek. zurück bis der Längenzähler 0,0 m anzeigte. Der Inspekteur startete die Aufnahme für die kontinuierliche Profilanalyse über die Software IKAS evolution. Da die Laser in die Inspektionskamera integriert sind, musste das Laser-Mess-System nicht mit einer Halterung vor der Kamera angebracht werden. Somit entfällt für den Inspekteur zusätzlicher Aufwand für die Montage und der Aufnahmevorgang für die Profilanalyse fügt sich optimal in die Arbeitsabläufe der TV-Inspektion ein. Die optische Inspektion und gleichzeitige kontinuierliche Vermessung aller 20 Haltungen im Eiprofil dauerte insgesamt 30 Arbeitsstunden.



*Abb.1:*

Für die kontinuierliche Profilanalyse über die gesamte Länge der Haltungen im Eiprofil kam in Bruchsal die ORPHEUS 2 zum Einsatz. Der endlos rotationsfähige Messkopf der Inspektionskamera ermöglichte die Erhebung der real vorliegenden Innen-Umfangsmaße in einem Arbeitsgang mit der Inspektion.

#### 5. Funktionsweise

Wird die Betriebsart vom Inspektionsmodus umgeschaltet auf den Laser-Scan-Modus, schaltet sich das Licht automatisch aus, das Laser-Mess-System automatisch ein und die Kamera blickt automatisch auf die Rohrwand. Anhand der beiden Laserpunkte bestimmt das System den Abstand der Kamera zur Rohrwand. Durch das Zurückfahren aus dem Kanalrohr bei gleichzeitigem Rotieren der Kamera wird schließlich das gesamte Profil der Haltung erfasst. Es entsteht eine Spirale von Lasermesspunkten. Bei schnellerem Zurückziehen entstehen größere, lang gestreckte Spiralen, da weniger Lasermesspunkte erfasst werden. Je langsamer die Kamera zurückgefahren wird, umso engere Spiralen bilden sich, da die Lasermessungen in dichteren Abständen erhoben werden. Folglich wird die Messgenauigkeit größer, je langsamer bei der LaserScan-Messung gefahren wird. Da der Rohrmittelpunkt aus den erhobenen Werten berechnet wird, muss die Mittelachse des Kamerakopfes nicht zwingend in der Mittelachse des Rohres liegen.

#### 6. Analyse mittels Software

Die auf diese Weise erfassten Laserpunkte wurden mit der Software IKAS evolution analysiert und durch die Experten der VOGEL Ingenieure ausgewertet. Ein Anwender hat die Wahl, ob er die

## Anwenderbericht Laserscan im Eiprofil

Analyse am Arbeitsplatz in der TV-Anlage oder am PC im Büro vornehmen möchte. Die Wahl der geeigneten Vorgehensweise hängt entscheidend vom Anwendungsfall ab. Da die vorgesehene Nutzung der Messdaten von Bau- oder Gewährleistungsabnahmen bis hin zur Auswahl und Konfektionierung von Schlauchlinern reicht, ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an eine sachgerechte Nachbereitung der Messergebnisse. Im Rahmen der hier beschriebenen Untersuchung erfolgte die Datenverarbeitung unter Anwendung der Profilanalyse-Office-Version durch die Experten der VOGEL Ingenieure.

### 6.1. Plausibilitätsprüfung der Messdaten

Den Sollwert für die jeweilige Haltung im Eiprofil hinterlegte das Ingenieurbüro in den Einstellungen der Software zur der Profilanalyse. In den Ansichtsoptionen kann die Sollwertkurve für eine vergleichende Darstellung der Messpunkte mit dem Idealmaß eingeblendet werden. Diese Option ist hilfreich für die Plausibilitätskontrolle (vgl. Abb. 1).

Beim Anklicken einer Position im Haltungsprofil springt die Software an die entsprechende Position im Video. Dadurch konnten die Messwtergebnisse anhand der Videoaufzeichnung der TV-Befahrung unmittelbar plausibilisiert werden. Das Ingenieurbüro konnte auf diese Weise auffällige Messwerte real vorliegenden Gegebenheiten wie Restwasser in der Rohrsohle, verfestigte Ablagerungen, Anschlussöffnungen, fehlenden Wandungsteile oder einragende Hindernisse zuordnen.

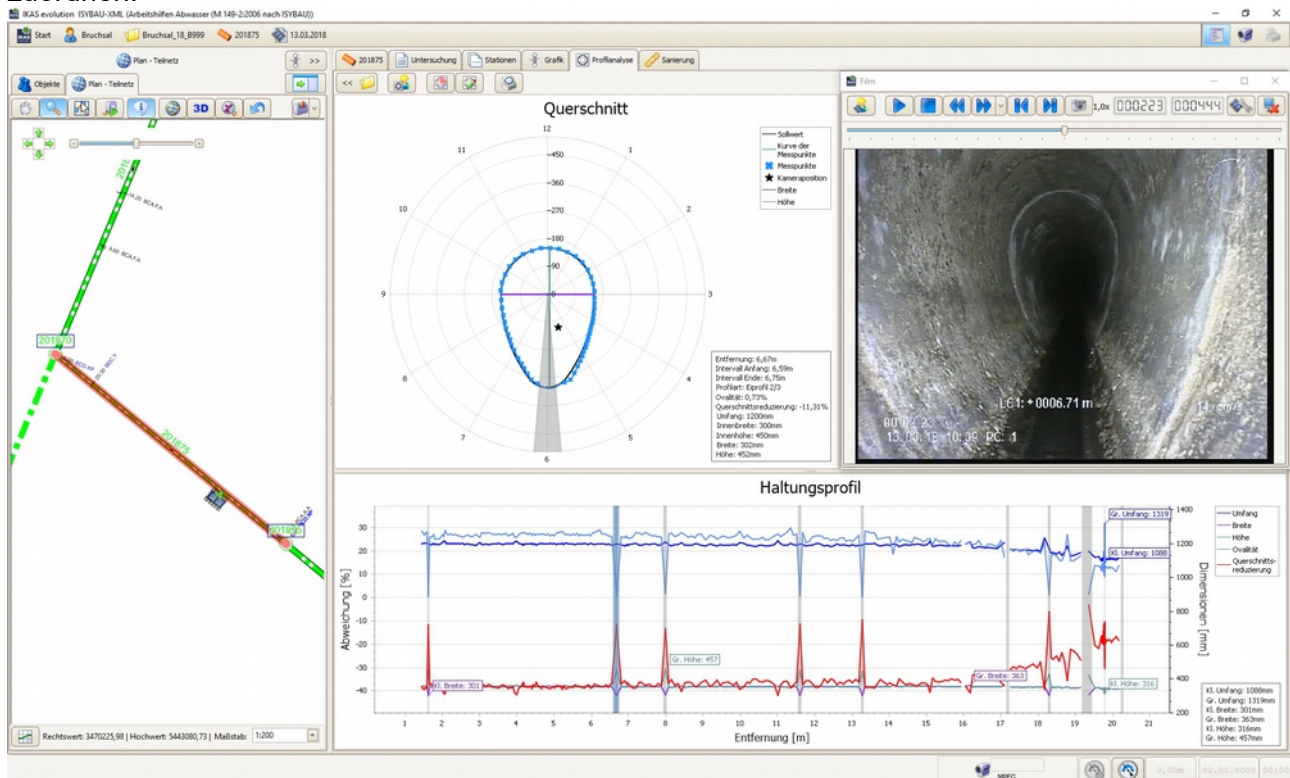


Abb 2:

Ansicht der Software IKAS evolution

Links: Netzplan mit Markierung der aktuellen Kameraposition (Videosymbol) in der aktuell bearbeiteten Haltung (rot hinterlegt)

Mitte oben: Querschnitt des Rohres als Ausschnitt der vermessenen Spirale (blaue Linie) mit hinterlegter Sollwertkurve (schwarze Linie) und Maskierung (grauer Winkelbereich)

Rechts oben: Videobild der Messstelle: Abwasser in der Sohle

Rechts unten: Grafische Darstellung über die gesamte Haltung (blaue Linie = Ovalität, rote Linie = Querschnittsreduzierung; die senkrechte blaue Linie entspricht der Querschnittsposition)



## 6.2. Nachbearbeitung der Messdaten

Mit Maskierungen können Bereiche im Rohr markiert und eliminiert werden, deren Auswirkungen auf die Berechnung der Innen-Umfangmaße unerwünscht ist. Dieses können z.B. Anschlüsse oder stehendes Wasser sein. Die in diesen Bereichen erfassten Messwerte stellen keine relevanten Maße des Eiprofils im eigentlichen Sinne dar. Hierzu zählen auch Ablagerungen, die bei einer anstehenden Sanierung im Ergebnis keine Rolle spielen, da sie vorher entfernt werden. Deshalb bietet die Software die Möglichkeit, die Messdaten zu bereinigen. Die Maskierungen sind mit den Sanierungsanforderungen entsprechenden Sachverstand vorzunehmen. Das Ingenieurbüro legte über eine oder mehrere Schichten im jeweils betroffenen Streckenabschnitt Winkelbereiche fest, deren Messwerte aus der Berechnung der Innen-Umfangmaße herausgenommen werden sollten. Innerhalb einer Maskierung wurden die realen Werte gegen ideale Werte ersetzt. Die Berechnung der idealen Werte erfolgte unter Berücksichtigung der erfassten Messwerte und auf Grundlage eines idealen Profils. Damit mehrere lokale Gegebenheiten im selben Bereich berücksichtigt werden können, ist in der Software eine Überlagerung von Maskierungen möglich (vgl. Abb 3).

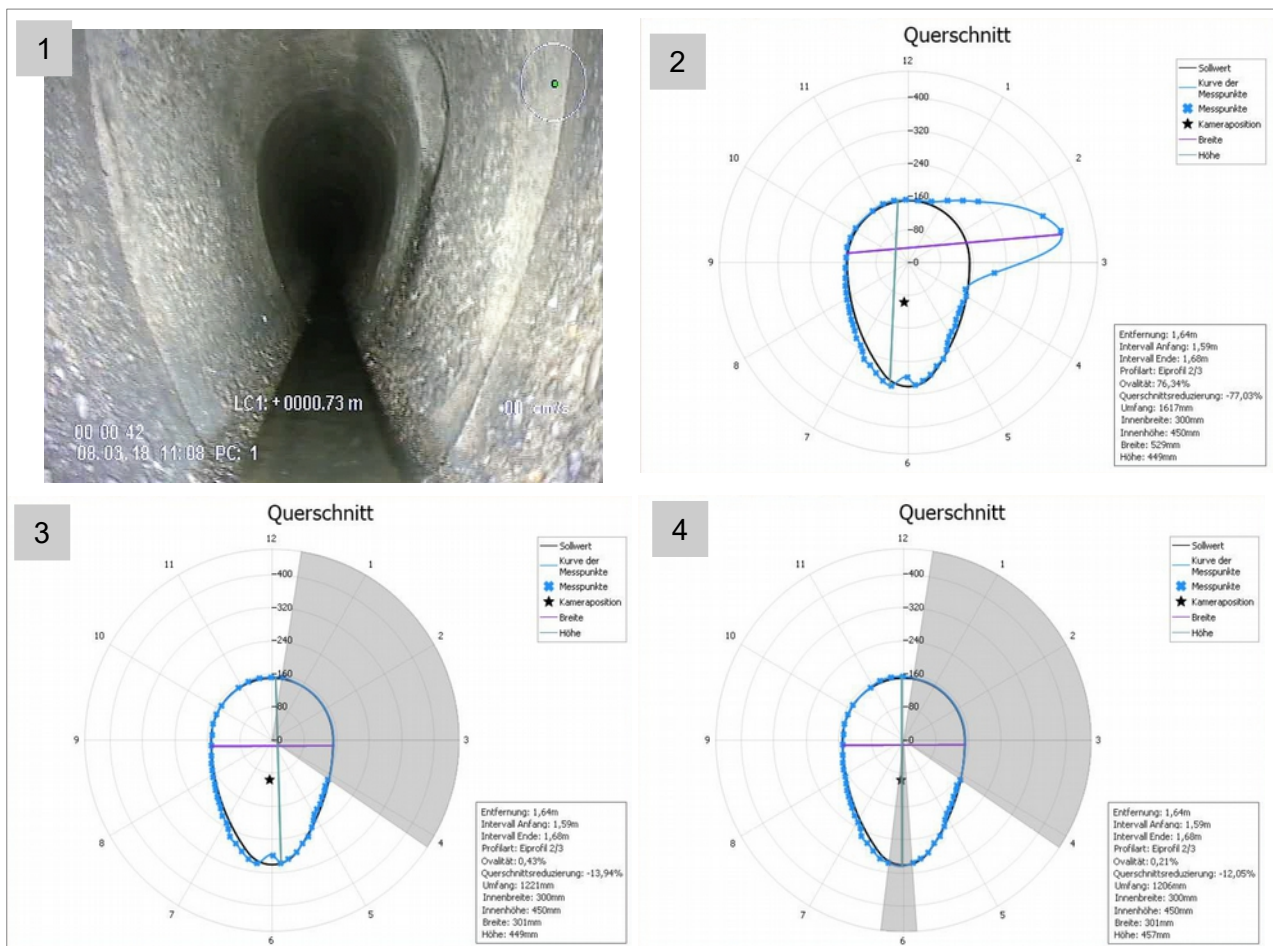


Abb. 3:

1. Videobild unmittelbar vor der Messstelle mit sichtbarem Anschluss
2. Querschnitt des Rohrs als Ausschnitt der vermessenen Spirale (blaue Linie)  
→ schwarze Linie = Soll-Querschnitt
3. Maskierung des Bereichs, in dem der Anschluss liegt, um Auswirkung dieser Messpunkte auf die Berechnung des Umfangs zu verhindern  
→ Innerhalb der Maskierung werden die realen Messwerte gegen ideale Soll-Werte ersetzt.
4. Es können mehrere Gegebenheiten in einem Querschnitt berücksichtigt werden  
→ zusätzliche Maskierung der Ablagerung in der Sohle

**6.3. Ergebnisse aus Bruchsal**

Während der optischen Inspektion mit der ORPHEUS 2 wurden als Hauptschadensbilder Undichtigkeiten an Bauteilverbindungen sowie Korrosion festgestellt. Die Korrosion lag zumeist über die gesamte Haltungslänge vor. In Kenntnis der real vorliegenden Profilmaße wurde mit dem vom Sanierungsunternehmen vorgesehenen Linerhersteller eine darauf abgestimmte Liner-Konfektionierung vorgenommen. Die Tabelle 1 stellt die Ergebnisse der Analyse zusammenfassend dar. Die Messdatenanalyse im vorliegenden Fall ergab, dass die Regelumfangsmaße teilweise unterschritten und in einer Reihe von Haltungen um bis zu 8 % überschritten wurden. Die maximale Umfangsabweichung innerhalb einzelner Haltungen (Maximalmaß zu Minimalmaß) lag in zwei Fällen bei 9,8 %.

In 6 von 20 Haltungen wurden Maßabweichungen im Altbestand ermittelt, die den Linerhersteller in Abstimmung mit dem Planer dazu veranlassten, von den Standardumfangmaßen der Liner für die Eiprofilgröße abzuweichen. In allen 6 Fällen wurde bei der Laservermessung ein größeres Umfangmaß ermittelt, was auf die Korrosion zurückzuführen ist. Mit der Anpassung der Bestellmaße wurde verhindert, dass sich der Liner infolge eines unzureichenden Dehnverhaltens nicht vollständig an die Rohrwand anlehnt bzw. dieser bei der Installation Schaden nimmt. „Können sich Liner bei der Installation infolge real größerer Nennweiten als angenommen bzw. an den Rohrmündungen gemessen nicht umfänglich an die Rohrwand anlegen, bildet sich ein größerer Ringspalt als in der statischen Berechnung standardmäßig angenommen. Es entsteht eine übermäßige Laminatverdichtung. Diese kann in Abhängigkeit von der realen Belastungssituation zur Überlastung des Liners im Verlauf der Nutzungsdauer führen“, begründet Vogel die Entscheidung, in den aufgeführten 6 Fällen ein größeres Bestellmaß des Liners anzusetzen. „Die Überdehnung der Liner bei der Installation kann zudem die Innenfolie beschädigen, so dass der Liner die erforderliche Qualität von Beginn an nicht erreicht“, ergänzt Vogel die Risiken, die es durch die Bestellmaß-Anpassung zu vermeiden galt.

Haltung	Bestandsdaten (BD)		Messergebnisse Profilanalyse				Bestellmaß		Linerdehnung			
	DN	DN	U, min [mm]	DN, min	U, max [mm]	DN, max	laut (BD)	laut Messung	DN, min	DN, max	U, min [mm]	U, max [mm]
1	450	300	1180	376	1228	391	378	378	376	386	1187	1188
2	375	250	968	308	1010	321	315	315	312	319	989	990
3	<b>600</b>	<b>400</b>	1560	497	1620	516	500	510	499	513	1570	1602
4	450	300	1180	376	1230	392	378	378	376	386	1187	1188
5	<b>600</b>	<b>400</b>	1553	494	1610	512	500	510	499	513	1570	1602
6	450	300	1180	376	1230	392	378	378	376	386	1187	1188
7	375	250	990	315	1020	325	315	315	312	319	989	990
8	375	250	980	312	1010	321	315	315	312	319	989	990
9	375	250	973	310	1020	325	315	315	312	319	989	990
10	375	250	980	312	1000	318	315	315	312	319	989	990
11	525	350	1378	439	1408	448	450	450	440	451	1413	1414
12	<b>600</b>	<b>400</b>	1563	498	1610	512	500	510	499	513	1570	1602
13	525	350	1382	440	1462	465	450	450	440	451	1413	1414
14	525	350	1384	441	1431	456	450	450	440	451	1413	1414
15	450	300	1182	376	1239	394	378	378	376	386	1187	1188
16	<b>750</b>	<b>500</b>	2002	637	2060	656	630	646	637	655	1978	2029
17	<b>600</b>	<b>400</b>	1570	500	1620	516	500	510	499	513	1570	1602
18	450	300	1172	373	1226	390	378	378	376	386	1187	1188
19	530	350	1380	439	1460	465	450	450	440	451	1413	1414
20	<b>370</b>	<b>250</b>	1000	318	1077	343	315	330	318	327	989	1037

Tab. 1:

Auszug der Messergebnisse in Bruchsal und der daraus resultierenden Linerkonfektionierung. (U = Umfang)

#### **6.4. Datenweitergabe an Auftraggeber**

Die auf der Basis der Vermessungsdaten durchgeführten Auswertungen wurden durch die Software IKAS evolution mit verschiedenen Ansichten anschaulich dargestellt. Von den Ergebnissen der Laserscan-Messung erstellt die Software einen übersichtlichen Report. Dieser ist in die Betrachtungssoftware vollständig integriert. Sämtliche Daten wie Filme und Berichte können mit der Profilanalyse zusammenhängend betrachten werden.

#### **7. Fazit und Ausblick**

Im Rahmen der Vorbereitungen einer kontinuierlichen Eiprofil-Vermessung mittels Laser sollten Ablagerungen durch Reinigungsmaßnahmen beseitigt und während der Laserscans die Höhe des Wasserstandes auf ein Minimum reduziert werden. Trotz dieser Vorkehrungen befand sich aufgrund des geringen Gefälles einzelner Haltungen Restwasser im Kanal. Mit der Dreh- und Schwenkkopfkamera ORPHEUS 2 konnte eine kontinuierliche, lasergestützte Deformationsmessung der nicht begehbaren Eiprofile in Bruchsal vorgenommen werden. Dies war ohne zusätzlichen Zeitaufwand für eine Laser-Montage möglich. Die auf der Basis der Vermessungsdaten durchgeführten Auswertungen konnten mit der Software IKAS evolution anschaulich dargestellt und umfassend analysiert werden. Das im Kanal stehende Wasser konnte aus den Messwerten zur Berechnung der Innen-Umfangmaße bereinigt werden. Durch den LaserScan der Haltungen konnten weitere Daten und damit Erkenntnisse gewonnen werden, die über eine rein optische Inspektion hinausgehen. Dies gilt insbesondere für die Ermittlung der real vorliegenden Profilm Maße.

Da die Planung des Abwasserbetriebs Bruchsal eine Sanierung der Haltungen im Eiprofil unter Einsatz eines Liningverfahrens vorsah, waren die Informationen aus der Laser-Deformationsmessung ausschlaggebend für die Konfektionierung der Liner. In 6 von 20 Untersuchungsobjekten wurde das Bestellmaß des Glasfaserliners nach oben korrigiert, da das Dehnverhalten des verwendeten Produkts die realen Maße beim Einsatz eines Liners mit Standardgröße nicht hätte abbilden können. Mit der Ermittlung des gemessenen maximalen und minimalen Umfangs über die gesamte Länge der jeweiligen Haltung konnte ein Liner ausgewählt werden, dessen Dehnverhalten optimal auf die real vorliegenden Profilm Maße ausgerichtet ist. „Durch den Verzicht auf eine Profilm Maßebestimmung können erhebliche Risiken für die technische Nutzungsdauer der Sanierungslösung entstehen. Die Folgekosten dürften die Kosten einer sachgerechten Sanierungsvorbereitung mit Profilanalyse bei Weitem übersteigen“, betont Vogel. Die Qualität, die durch die am Markt vorhandene Technik erreicht werden kann, solle auch zum Einsatz kommen; dafür müsse diese aber auch in den Ausschreibungen zur Durchführung solcher Messungen gefordert und die gewünschte Form der Daten genau definiert werden. Die Profilmessung und Datenauswertung in Vorbereitung einer Sanierungsmaßnahme sollte, zur Vermeidung von Zeitverzögerungen und Nachtragserfordernissen, bereits im Planungsstadium erfolgen, so die weitere Erfahrung des Planers. „Wenn Schlauchliner die mittlere technische Nutzungsdauer von 50 Jahren erreichen und bestenfalls überdauern sollen, braucht es einen Maßanzug für den konkreten Kanalabschnitt. Mit der ORPHEUS 2 kann sowohl im Kreis- als auch im Eiprofil in einem Arbeitsgang mit der Inspektion Maß genommen werden“, hebt Vogel die Bedeutung der technischen Voraussetzungen hervor. Abschließend konstatiert er, dass „die Erfahrung der letzten 18 Monate mit konsequenter Messung der Profilm Größen im Zuge der Sanierungsplanungen zeigen, dass in kaum einem Kanalrohr das Maß drinsteckt, das außen drauf steht.“